Programa de Entrenamiento
Acelerado para Supervisores

INTRODUCCION A LOS FLUIDOS DE PERFORACION

Introducción a los Fluidos de Perforación
Lodos Base Agua – WBM y Lodos Base Aceite – OBM

- **Contenido:**
  - Objetivos,
  - Funciones Básicas,
  - Propiedades Básicas,
  - Lodos Base Agua & Base Aceite,
  - Pruebas de Desempeño,
  - Consideraciones Ambientales.

Introducción a los Fluidos de Perforación
Lodos Base Agua – WBM y Lodos Base Aceite – OBM

- **Objetivos:**
  - Al final de este módulo, USTED podrá:
    - Enumerar las funciones y propiedades de los fluidos de perforación,
    - Entender los conceptos sobre el Daño de Formación
    - Describir los diferentes sistemas de lodo,
    - Identificar el impacto ambiental con los fluidos de perforación.

Introducción

- **El fluido de perforación es un líquido o gas que circula a través de la sarta de perforación hasta a la barrena y regresa a la superficie por el espacio anular. Hasta la fecha un pozo de gas o aceite no se puede perforar sin este concepto básico de fluido circulante.**

- **Un ciclo es el tiempo que se requiere para que la bomba mueva el fluido de perforación hacia abajo al agujero y de regreso a la superficie,**

- **El fluido de perforación es una parte clave del proceso de perforación, y el éxito de un programa de perforación depende de su diseño.**

- **Un fluido de perforación para un área particular se debe diseñar para cumplir con los requerimientos específicos.**

- **En general los fluidos de perforación tendrán muchas propiedades que son benéficas para la operación, pero también algunas otras que no son deseables. Siempre hay un compromiso.**

Introducción

- Una compañía de servicios proporciona los servicios de Ingeniería de Lodos en los equipos de perforación.
- La tecnología de Fluidos de Perforación se rige por tres factores :
  - Desempeño,
  - Economía
  - Asuntos Ambientales.

Historia

- **1900** → **Agua y arcillas No hay control de propiedades**
- **Agente Densificante (‘40’s)** → **Lodos base agua**
- **Filtrado Controlado(‘50/’60’s)** → **Polímeros Celulosa**
- **polímeros (70 ’s)** → **Sistemas PHPA**
- **Aceites Minerales (‘80’s)** → **Compatibilidad con la Formación**
- **Sintéticos (‘90’s)** → **Ambiental**

Introducción a los Fluidos de Perforación
Lodos Base Agua – WBM y Lodos Base Aceite – OBM

Sección 1

Funciones de los Fluidos de Perforación

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
  - Hay por lo menos diez funciones importantes del fluido de perforación:
    - Remover los recortes del fondo del agujero, transportarlos a la superficie y liberarlos con la ayuda de los equipos para control de sólidos.
    - Enfriar y lubricar la barrena y la sarta de perforación,
    - Recubrir el agujero con un revoque de pared de baja permeabilidad,
    - Controlar las presiones sub superficiales,
    - Sostener los recortes y el material pesado en suspensión cuando se detenga la circulación,
    - Soportar parte del peso de la sarta de perforación y del revestimiento,
    - Prevenir o reducir al mínimo cualquier daño a las formaciones aledañas,
    - Permitir la Obtención de información sobre las formaciones penetradas,
    - Transmitir potencia hidráulica a la barrena,
    - Controlar la corrosión de los tubulares y herramientas dentro del pozo.

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
  - **Retirar los recortes del fondo del agujero, transportarlos y liberarlos en la superficie.**
    - La velocidad de flujo en el espacio anular es el parámetro clave para vencer el efecto de la gravedad,
    - Es frecuente utilizar velocidades entre 100 y 200 pies/min en el espacio anular,
    - La velocidad de flujo en el espacio anular se puede obtener así:
      - $AV = 24.5(GPM) / (D_h^2 - D_p^2)$ o a partir de:
      - AV= gasto de la bomba (bbls /min) / volumen espacio anular (bbls /pie).
    - La densidad y la viscosidad también contribuyen a mejorar la capacidad transportadora de un fluido,
    - Los recortes y los sólidos deben retirarse en la superficie para obtener un fluido limpio que se pueda bombear de nuevo hacia el agujero a través de la sarta.
      - La arena es muy abrasiva y si no se remueve dañará las bombas de lodo, las líneas , los tubulares y el equipo de subsuelo.
      - Si no se remueven los recortes se fragmentarán y llenarán el lodo con coloides que deteriorarán sus propiedades reológicas.

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
  - Enfrar y lubricar la barrena y la sarta de perforación:
    - Conforme la barrena y la sarta de perforación giran contra la formación, se genera una gran cantidad de calor,
    - El fluido de perforación absorbe el calor generado y lo lleva a la superficie, donde se libera a la atmósfera,
    - El fluido de perforación debe tener algunas propiedades de lubricación que ayudarán a reducir el torque y la fricción.
    - La lubricación ocurre entre el agujero y la superficie de la barrena o sarta de perforación, no tiene nada que ver con los cojinetes de la barrena.

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
  - Depositar un revoque de pared impermeable :
    - Un buen fluido de perforación debe depositar un revoque delgado y de baja permeabilidad en la pared del agujero frente a las formaciones permeables para consolidarlas y para retardar el paso del fluido desde el agujero del pozo hacia la formación permeable.
    - La presión diferencial resultará en invasión del fluido, la cual en ausencia de un revoque empujaría al lodo o a su filtrado hacia la formación,
    - La pérdida de lodo o de filtrado causará daños a la formación,

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
- Controlar las presiones del subsuelo:
  - La presión hidrostática del lodo debe ser suficiente para prevenir un brote imprevisto del pozo,
  - La densidad del lodo (peso del lodo) es el factor de control:
  - Una ecuación muy común para obtener la presión hidrostática ejercida por la columna de lodo es:

    Presión hidrostática (psi) = (Profundidad Vertical pies) x (densidad del lodo, lb/gal) x (0.052)

    El gradiente del lodo en (psi/pie) = (densidad del lodo, lb/gal)(0.052)

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
- Sostener los recortes y el material pesado en suspensión cuando se detenga la circulación:
  - Esto se logra con buenas propiedades tixotrópicas del fluido.
  - La tixotropía es la capacidad de un fluido de desarrollar resistencia de gel con el tiempo cuando se le deja en reposo, pero permitiéndole regresar a su estado fluido al aplicarle agitación mecánica.
- Soportar parte del peso de las sartas de perforación y de revestimiento:
  - Conforme un pozo es perforado a mayor profundidad, el peso de las sartas de perforación y derevestimiento se convierte en un factor crítico.
  - El lodo ayuda a reducir el peso de las sartas conforme ellas flotan hacia arriba por una fuerza de empuje igual al peso del lodo desplazado.
  - Al aumentar el peso del lodo aumenta también la fuerza de flotación.

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
- Evitar daños de permeabilidad en la zona productiva :
  - El fluido utilizado para perforar la zona de producción tendrá un impacto importante en la productividad del pozo,
  - La pérdida de la producción resulta de:

    - Arcillas hinchadas por hidratación,

    - Poros del yacimiento bloqueados con sólidos y/o gotas de micro-emulsión.
- Permitir la obtención información de las formaciones penetradas
  - Las propiedades del fluido no deben interferir con el programa de registro, deben facilitar la obtención de la información deseada.
    - Por ejemplo, el lodo debe tener una resistividad definida para que cuando los registros se corran se pueda derivar la resistividad de la formación.

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
  - Transmitir caballaje hidráulico a la barrena:
    - El fluido de perforación es el medio para transmitir la potencia hidráulica hasta la barrena,
    - Las propiedades de flujo del lodo ejercen una influencia considerable sobre la hidráulica. Ellas se deben optimizar para lograr una hidráulica óptima.
    - Una hidráulica adecuada promueve altas velocidades de penetración.

Funciones de los Fluidos de Perforación

- **Funciones Básicas;**
- Protejer la sarta de perforación contra la corrosión :
  - El fluido de perforación debe ser no corrosivo,
  - La corrosión aumentará conforme disminuye el PH.
  - La corrosión puede llevar a:

    - Roturas de la tubería por chorro erosivo (lavado)

    - Fallas en la bomba de lodos

    - Fugas en las líneas de superficie.

Introducción a los Fluidos de Perforación
Lodos Base Agua – WBM y Lodos Base Aceite – OBM

Sección 2

Propiedades de los Fluidos de Perforación

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Densidad**
  - El requerimiento primario de desempeño para un fluido de perforación es el control de presiones
  - La densidad de cualquier lodo está directamente relacionada con la cantidad y gravedad específica promedio de los sólidos en el sistema,
  - El control de densidad es importante ya que la presión hidrostática ejercida por la columna de fluido se requiere para contener la presión de la formación y para ayudar a mantener el agujero abierto,
    - La densidad de los fluidos de perforación debe ser dictada por las presiones de la formación,
    - La presión ejercida por la columna de fluido debe ser igual a o ligeramente mayor que la presión de la formación.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Densidad**
  - El control de la densidad es importante,
    - La densidad necesitará ajustarse durante las operaciones en el pozo,
    - Se utilizará material densificante como la Barita debido a su alta gravedad específica (mínimo de 4.2 gr/cc),
    - La presión efectiva en el fondo del pozo será mayor en condiciones dinámicas de bombeo (presión por circulación),
    - La Densidad Equivalente por Circulación será:

$$ECD = \frac{(\text{profundidad x } 0.052 \text{ x densidad de lodo (ppg)})}{\text{profundidad x } 0.052} + \triangle P_{ann}$$

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Viscosidad**
  - La viscosidad se define como la resistencia de un fluido al flujo.
  - Se mide rutinariamente en el campo utilizando el embudo Marsh y se mide el tiempo en segundos que le toma a un cuarto de galón del fluido pasar a través del embudo.
  - Conforme aumenta la penetración, los sólidos inertes y los contaminantes entran al sistema de lodo y pueden hacer que la viscosidad aumente.
  - El embudo Marsh se puede utilizar para determinar si la viscosidad está en el rango adecuado.

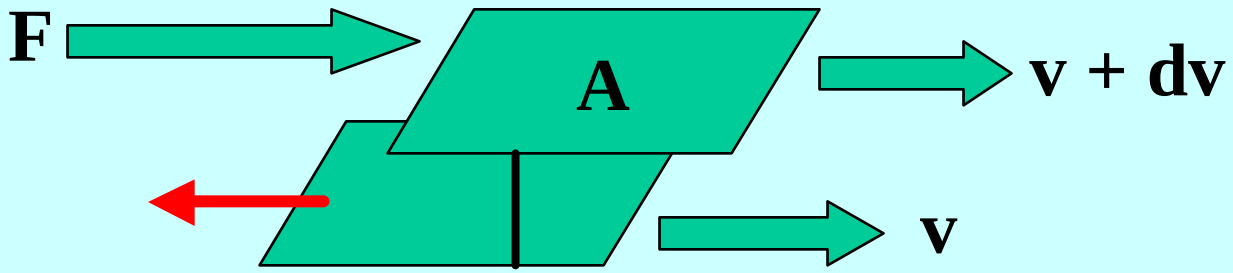
Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Reología:**
  - La reología es la ciencia de la deformación de los materiales (si son sólidos) o de su flujo (si son líquidos) bajo un esfuerzo aplicado.
  - En caso de fluidos de perforación la reología es el estudio de las características que definen el flujo y las propiedades gelatinizantes del mismo.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Caracterización Reológica de los Fluidos:**

2 Plaquetas



-La resistencia o fuerza de fricción es el esfuerzo cortante
-La diferencia en las velocidades dividida entre la distancia entre las plaquetas se llama velocidad de corte

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Unidades de velocidad de corte y esfuerzo cortante:**

  - Esfuerzo Cortante : Unidad : **Lb / 100 ft 2**

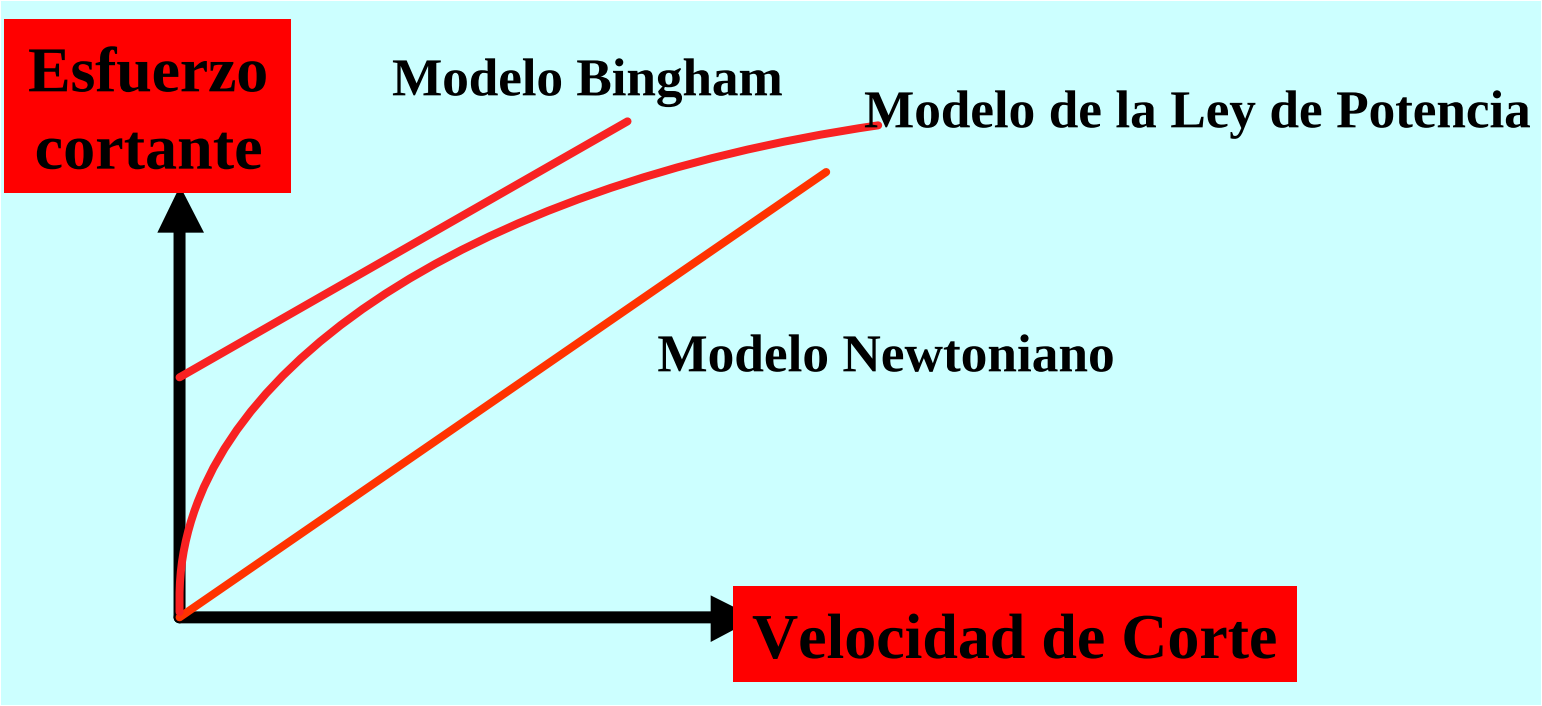
$$\frac{\text{Fuerza que causa el corte}}{\text{Superficie de la plaqueta}}$$

  - Velocidad de corte : Unidad : **1 / seg (segundo recíproco)**

$$\frac{\text{Diferencia de velocidad entre 2 plaquetas en ft/seg}}{\text{Distancia entre 2 plaquetasen pies}} = 1/\text{seg}$$

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Modelos de Reología ;**



Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Fluidos Newtonianos;**
  - Esfuerzo Cortante = coeficiente de viscosidad *velocidad de corte

$$\tau = \mu\gamma$$

  - Coeficiente de Viscosidad = $\dfrac{\text{Esfuerzo Cortante}}{\textbf{Velocidad de Corte}}$ $\qquad \mu = \dfrac{\tau}{\gamma}$

Las unidades del coeficiente de viscosidad son :

$$\frac{\text{lbs x seg}}{100\ \text{pie}^2} = \text{Centipiose}$$

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Fluidos No Newtonianos – Modelo Plástico de Bingham**
- Un modelo que se ha utilizado con frecuencia para caracterizar las propiedades de flujo del lodo de perforación es el Modelo Plástico de Bingham.

  - $\tau = \tau_y + \mu_p \gamma$

    (El esfuerzo cortante es igual al esfuerzo cortante a velocidad de corte cero + la velocidad de aumento de esfuerzo cortante con una velocidad de corte en aumento x velocidad de corte.)

  - La τ_y (esfuerzo cortante a velocidad cortante cero) se le llama punto de cedencia y el μ_p (velocidad de aumento del esfuerzo cortante con el aumento de velocidad cortante) se le llama viscosidad plástica.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Viscosidad Plástica y Punto de Cedencia**
  - Las mediciones de la Viscosidad Plástica y del Punto de Cedencia son extremadamente útiles para determinar la causa de viscosidades anormales en los fluidos de perforación.
  - La Viscosidad Plástica es la parte de resistencia al flujo causada por la fricción mecánica.
  - Altas concentraciones de sólidos llevan a una alta fricción que aumentará la viscosidad plástica. El disminuir el tamaño de los sólidos a volumen constante también aumenta la Viscosidad Plástica debido a que hay un aumento en el área de contacto entre las partículas lo que aumenta la fricción.
  - El Punto de Cedencia, el segundo componente de resistencia al flujo de un fluido de perforación, es la medida de una fuerza electro-químicas o de atracción en el lodo. Estas fuerzas son el resultado de cargas positivas o negativas localizadas cerca de la superficie de las partículas.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Medición de la Viscosidad con el viscosímetro Fann V-G**

  - El comúnmente utilizado viscosímetro de indicador directo o V-G (viscosidad-gel), esta especialmente diseñado para facilitar el uso del Modelo plástico de Bingham con los fluidos de perforación en el campo.

  - El instrumento tiene una balanza de torsión cargada con resorte que da una lectura proporcional al torque y análoga al esfuerzo cortante aplicado.

  - La velocidad de rotación, rpm, es análoga al velocidad de corte.

  - Las constantes del instrumento han sido incluidas para que las lecturas de Viscosidad Plástica y Punto de Cedencia se obtengan de las lecturas para dos velocidades del rotor a 300 y 600 rpm.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Medición de la Viscosidad con el viscosímetro Fann V-G**

  - Viscosidad Plástica = lectura a 600 – lectura a 300 (en centipoises)
  - Punto de Cedencia = lectura a 300 – VP (en lb/100pie^2)
  - Otro valor de viscosidad comúnmente medido es la Viscosidad Aparente que se calcula dividiendo entre dos (2) la lectura a 600 rpm.
  - La viscosidad aparente también se ve influenciada por la concentración de sólidos y por el tamaño de las partículas.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Resistencia de Gel (en libras por 100 pie^2, lb/100pie^2):**
  - Las mediciones de resistencia de Gel denotan las propiedades tixotrópicas del lodo. Son la medida de las fuerzas de atracción bajo condiciones estáticas o de no flujo.
  - Por otro lado el Punto de Cedencia es la medida de las fuerzas de atracción bajo condiciones de flujo.
  - Las resistencias de gel están clasificadas como geles de tipo progresivo (fuerte) o frágil (débil). Un gel progresivo comienza bajo, pero aumenta consistentemente con el tiempo; mientras que un gel frágil puede comenzar alto inicialmente pero sólo aumentar ligeramente con el tiempo
  - Los geles progresivos son poco deseables ya que pueden crear problemas como tasas de bombeo (caudales) excesivas para romper la circulación, pérdida de circulación, suabeo del agujero, etc.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Fluidos No Newtonianos – Modelo de la Ley de Potencia**
  - El Modelo de la Ley de potencia es un enfoque más versátil para describir las propiedades de flujo de un fluido no-Newtoniano.
  - La ecuación del modelo de la ley de potencia es: $\tau = K\gamma^n$

Donde: τ = Esfuerzo cortante

K = Indice de Consistencia

γ = Velocidad Cortante

n = índice de potencia

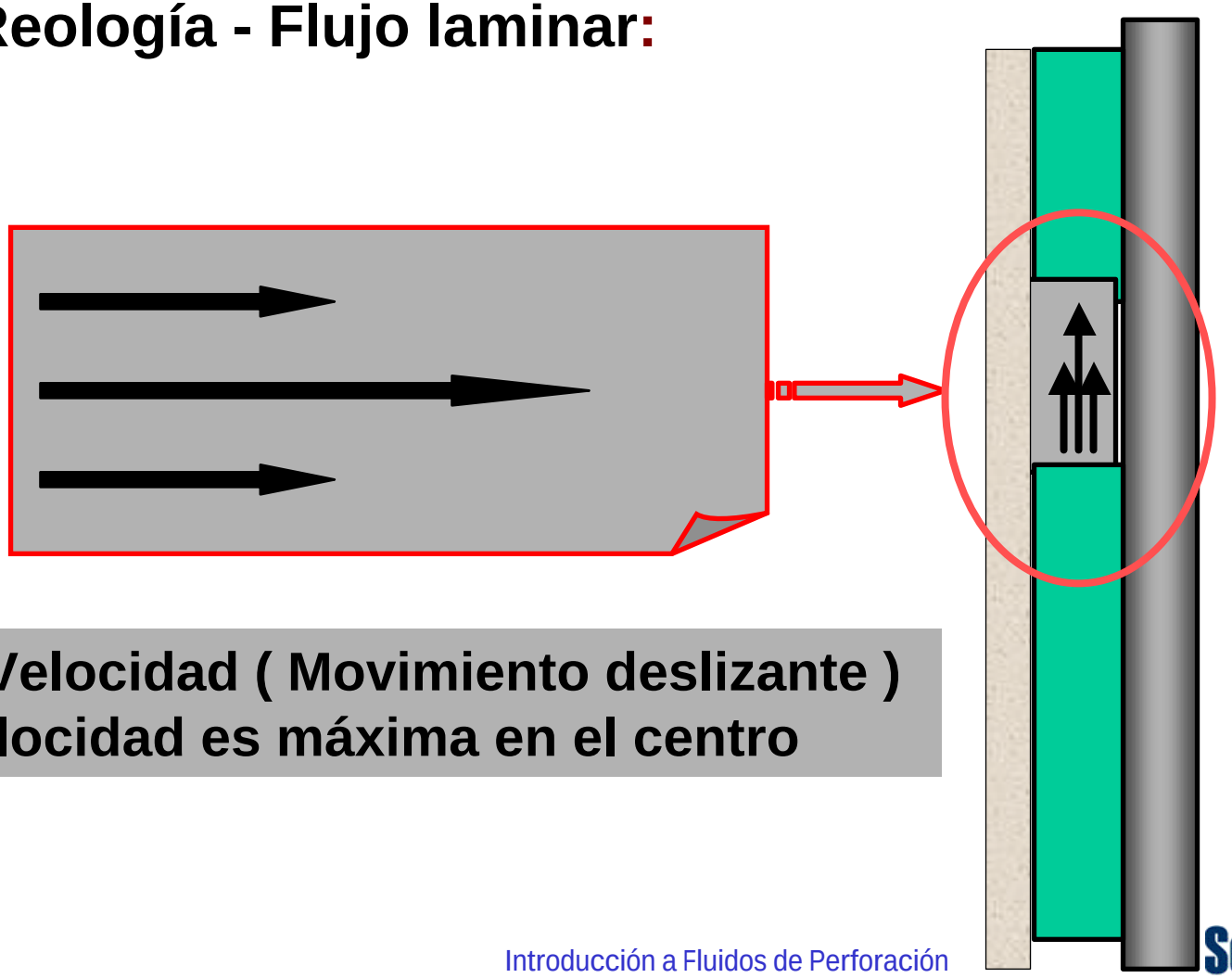
  - **K** y **n** son constantes que representan características de un fluido particular.
  - **K** es un índice de consistencia indicativo de su bombeabilidad
  - **n** es el índice de potencia que indica el grado de características no-Newtonianas.
  - Conforme el fluido se hace más viscoso, **K** aumenta ; conforme el fluido se hace más delgado al corte, **n** disminuye

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Reología y regímenes de flujo:**
  - En 1833, **Osborne Reynolds** llevó a cabo experimentos con varios líquidos que fluían a través de un tubo de vidrio.
    - El tipo de flujo en el que todo el movimiento del fluido es en dirección del flujo es ahora llamado **flujo laminar**
    - Se le llama **flujo turbulento** a un movimiento rápido y caótico en todas direcciones en el fluido,
    - El flujo de un fluido a velocidades de flujo extremadamente bajas es un **flujo de tapón**,
    - Al flujo que puede alternar entre laminar y turbulento se le llama **flujo transicional**.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

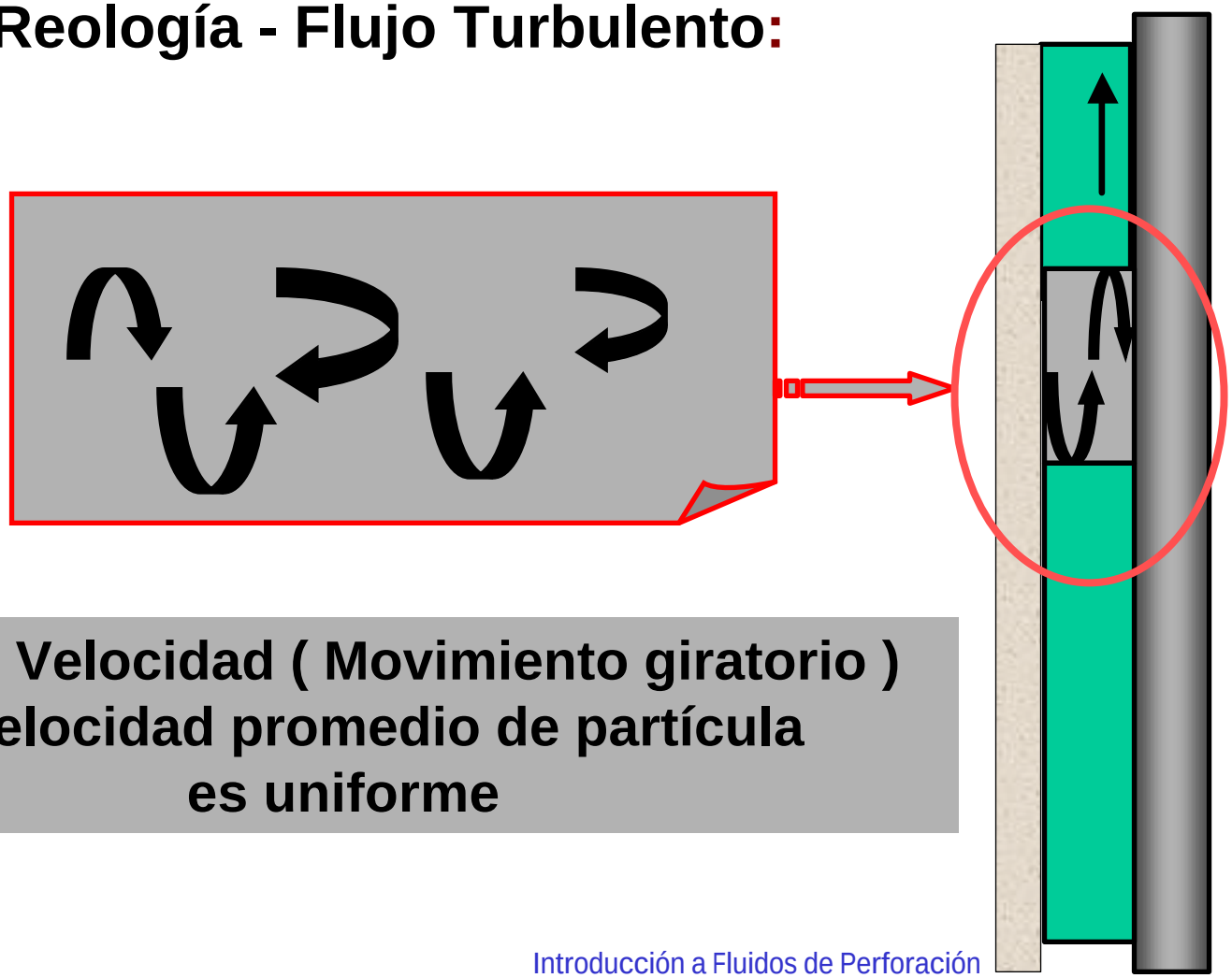
- **Reología - Flujo laminar:**



Perfil de Velocidad (Movimiento deslizante)
La velocidad es máxima en el centro

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Reología - Flujo Turbulento:**



Perfil de Velocidad (Movimiento giratorio)
La velocidad promedio de partícula
es uniforme

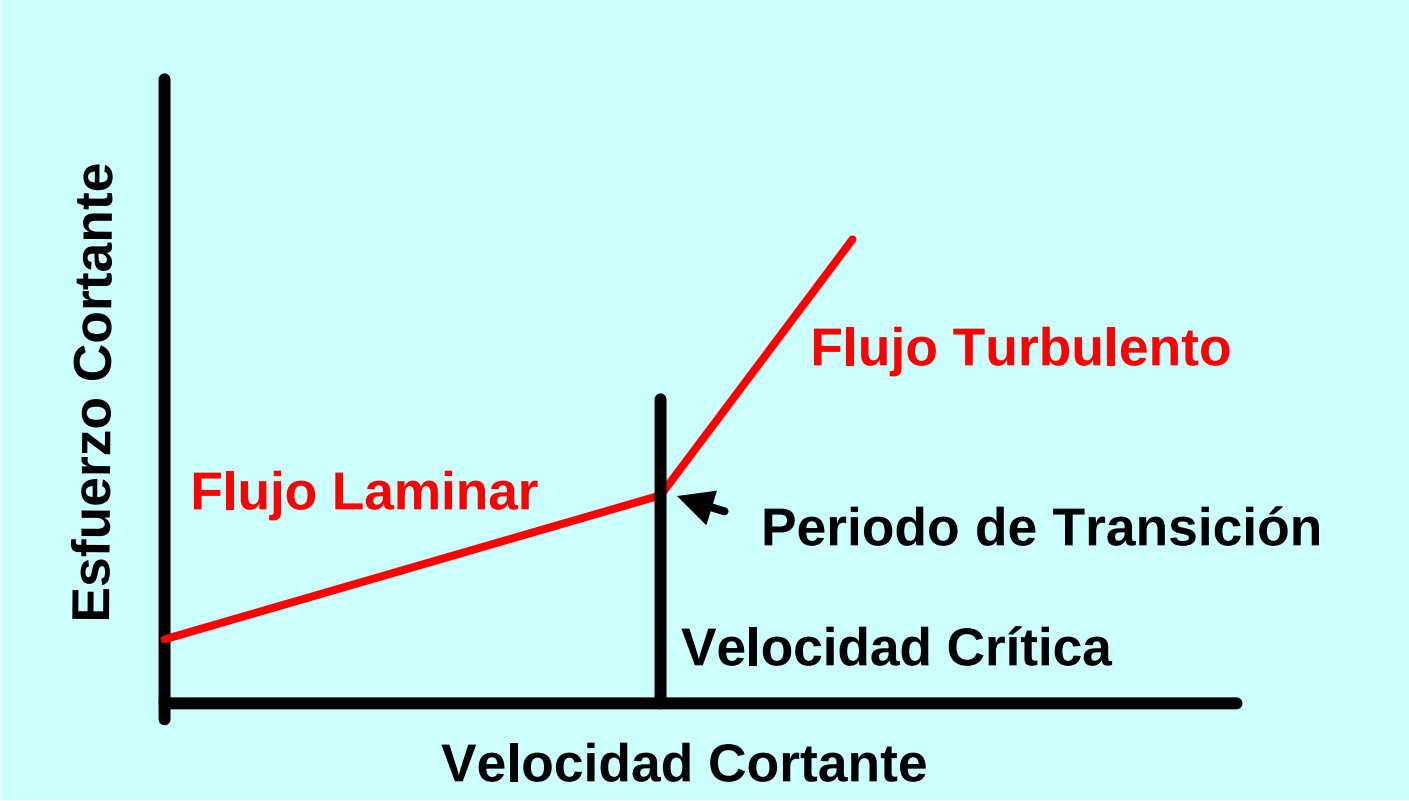
Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Reología - Número de Reynolds;**
  - El número de Reynolds toma en consideración los factores básicos de flujo por tubería :
    - Tubería, diámetro, velocidad promedio, densidad de fluido y viscosidad de fluido,
    - Re = (Velocidad x diámetro del tubo x densidad)/(viscosidad de fluido)
    - Flujo Laminar si Re < 2000- Transición - 3000 <Turbulento
    - Flujo de Transición si 2000 < Re < 3000
    - Flujo Turbulento si Re > 3000

El régimen particular de flujo que tenga un fluido durante la perforación puede tener efectos dramáticos en parámetros como las pérdidas de presión, la limpieza del pozo y la estabilidad de agujero.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Reología - Velocidad Crítica>**



Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Filtración ;**
  - Existen dos tipos de filtración, dinámica y estática.
  - En la filtración dinámica, el flujo tiende a erosionar el revoque conforme se deposita; mientras en el caso estático, el revoque continúa haciéndose más grueso con el tiempo.
  - No hay manera de medir la filtración dinámica, así que las medidas que hace el ingeniero de lodos están limitadas a pruebas hechas bajo condiciones estáticas.
  - Para que ocurra la filtración, la permeabilidad de la formación tiene que ser tal que permita el paso del fluido entre las aperturas del poro.
  - Conforme el fluido se pierde, se forma una acumulación de sólidos de lodo en la cara de la pared (Revoque de Pared). Los sólidos que forman el revoque son sólidos congénitos encontrados en la formación durante la perforación y diferentes tipos de sólidos agregados al lodo en la superficie.
  - Para obtener el mejor revoque posible, se debe poner especial atención no sólo a los materiales base utilizados sino también a la distribución del tamaño de partículas sólidas.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Filtración:**
  - La cantidad de invasión depende de:
    - Propiedades de la roca y del fluido,
    - Parámetros de perforación,
    - Características de filtración, composición y propiedades de los fluidos de perforación, y terminación.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

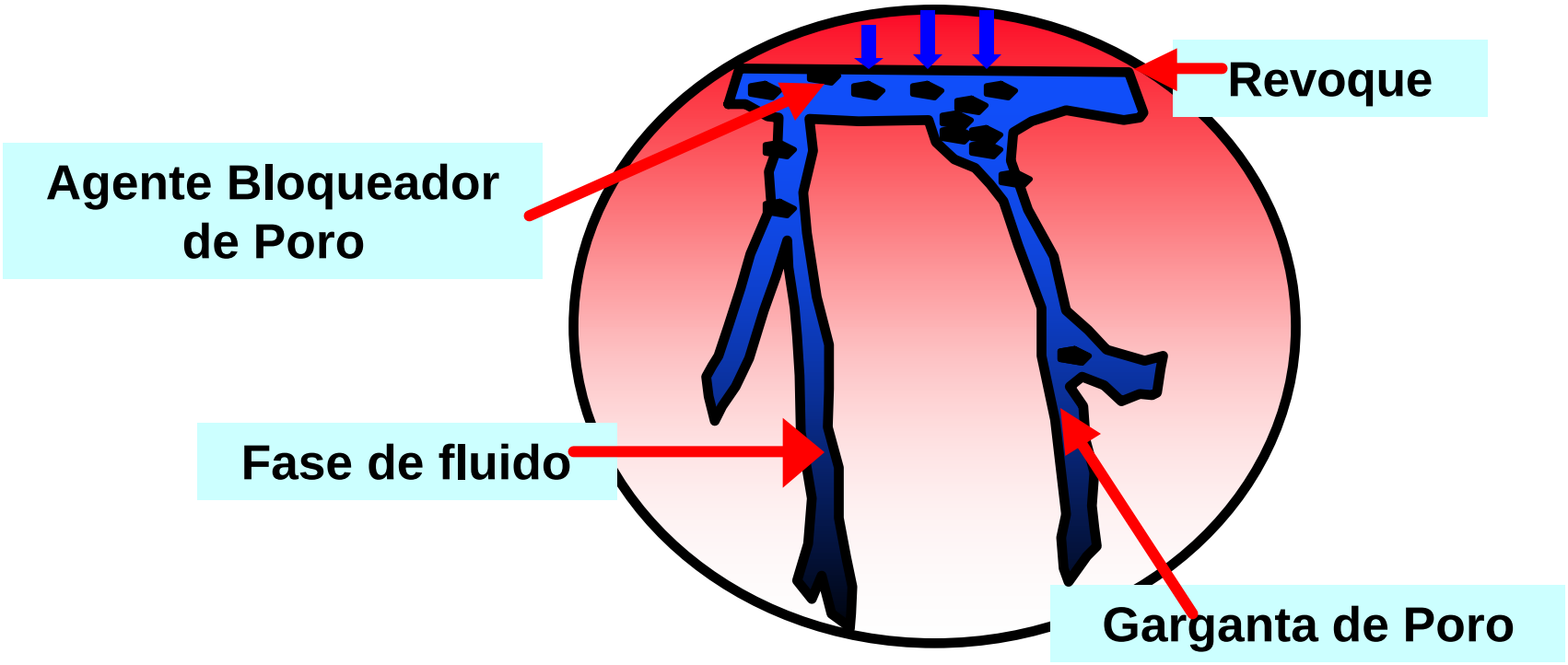
- **Filtración ;**
  - **Los siguientes problemas ocurren debido al control inadecuado de la filtración**:
    - Puntos apretados (de diámetro reducido) en el agujero que causan fricción excesiva.
    - Incrementos en la presión de surgencia (succión) al mover la sarta en un agujero de diámetro reducido.
    - Pegaduras por presión diferencial de la sarta de perforación debido a un área de contacto de la sarta de perforación recostada contra la formación, aumentada por un revoque grueso y por la rápida acumulación de fuerza de pegadura en revoque de la zona de alta permeabilidad.
    - Problemas de cementación primaria debido a un mal desplazamiento de lodo deshidratado y revoques de filtración excesivamente gruesos.
    - Problemas para la evaluación de formación por invasión excesiva de filtrado y revoques de filtración demasiado grueso.
    - Daño excesivo de formación por el filtrado de lodo.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Filtración:**
  - Los fluidos de perforación utilizados para perforar la zona de producción tienen un impacto en la productividad del pozo debido a :
    - Las composiciones y propiedades de los fluidos de perforación y completación,
    - El control de filtración, el puenteo, y la química del filtrado son las propiedades más importantes para reducir el daño a la formación.

Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Esquema de la Filtración:**



Propiedades de los Fluidos de Perforación

- **Control de Filtración:**
  - La formación de un revoque delgado y apretado protegerá contra la invasión de filtrados del fluido de perforación hacia las formaciones
  - El control de filtración se logra en los fluidos de perforación mediante la adición de arcilla bentonítica, polímeros para control de pérdida de fluido, lignitos, resinas, etc.
  - Una práctica común es reducir aún más la velocidad de filtración del fluido de perforación antes de perforar la formación del yacimiento.
  - En muchos casos la formación del yacimiento se perfora con fluidos limpios (sin arcilla) para prevenir que se formen emulsiones y taponen la formación. Estos fluidos están formulados con polímeros y con sólidos inertes de tamaño adecuado para bloqueo como el Carbonato de Calcio.

Introducción a los Fluidos de Perforación
Lodos Base Agua – WBM y Lodos Base Aceite – OBM

Sección 3

Tipos de Fluidos de Perforación

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Lodos en base Agua:**
  - La mayoría de los fluidos de perforación son de base acuosa
  - La fase líquida para la mezcla puede ser :
    - Agua dulce,
    - Agua de mar,
    - Una base específica de salmuera
  - Se utilizan aditivos especiales para formular un lodo base agua.

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Lodos base agua & aditivos:**
  - Materiales de Arcilla,
  - Aditivos para control de viscosidad,
    - Viscosificantes,
    - Adelgazantes,
  - Aditivos para control de filtración,
  - Aditivos para control de densidad .

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Materiales de Arcilla:**
  - La bentonita se utiliza en fluidos de perforación para dar viscosidad y para controlar la pérdida de fluido,
  - Diferentes grados de bentonitas:
    - Bentonita Wyoming, bentonita sodio puro
    - Bentonita API ,montmorillonita tratada con polímeros
    - Bentonita OCMA , bentonita de calcio tratada con ceniza de soda para reemplazar el calcio con sodio
    - Las arcillas comerciales están calificadas de acuerdo con su rendimiento. (Se define el **rendimiento de una arcilla** como el número de barriles de lodo de 15 centipoise que se pueden obtener con una tonelada de material seco)

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Materiales de Arcilla:**
  - El rendimiento de una arcilla se verá afectado por las concentraciones de sal en el agua. La arcilla es hidratada con agua fresca o agua de perforación
  - La hidratación se reduce por la presencia de iones de Calcio o Magnesio, por lo que se requiere de un tratamiento químico del agua base de la mezcla antes de la hidratación,
  - Para aguas saladas se deberá utilizar arcilla attapulgita, especial para agua salada, o la gel prehidratada en agua fresca.

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Aditivos para control de la viscosidad:**
  - Los polímeros orgánicos como Xanthan, PAC o CMC son viscosificantes con moléculas de cadenas largas:
    - polímero de celulosa polianiónica,
    - polímero de carboximetil celulosa,
  - Los adelgazantes químicos (dispersantes) reducirán la viscosidad de los fluidos de perforación:
    - Se pueden utilizar fosfatos, lignitos, lignosulfonatos, taninos o adelgazantes sintéticos.

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Aditivos de control de filtración:**
  - Las arcillas como la Bentonita favorecen la filtración al formarse el revoque frente a la formación permeable,
  - Los polímeros orgánicos como el almidón se hinchan y sellan las zonas permeables en forma efectiva,

    - La estabilidad está limitada a 250 ° F,
  - El CMC y el PAC de baja viscosidad también son buenos para la formación del revoque,

    - El PAC trabaja con salinidades max de 60,000ppm y la estabilidad por temperatura está limitada a 350 ° F

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Aditivos para Control de Densidad;**,
  - Caliza: Peso del lodo (hasta 12 lbs/gal)
  - **Carbonato de Calcio, $CaCo_3$,Gravedad Específica : 2.7 gr/cc**
  - Barita: Peso del lodo (hasta 20 lbs/gal)
  - **Sulfato de Bario, $BaSo_4$, Gravedad Específica : 4.2 gr/cc**
  - Hematita: Peso del lodo (hasta 25 lbs/gal)
  - **Oxido Férrico, Fe_2O_3, Gravedad Específica: 5.0 gr/cc**
  - Galena: Peso del lodo (máximo 32 lb/gal)
  - **Sulfuro de Plomo, PbS, Gravedad Específica: 7.4 gr/cc**

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Lodos base Agua:**
  - Las diversas clases de lodo con base agua se clasifican en dos grupos:
    - Lodos **No inhibidos:**
      - Donde no se requiere inhibición para controlar las formaciones hidratables o dispersables
    - Lodos **inhibidos:**
      - Donde se requiere inhibición para controlar formaciones dispersables o hidratables

Tipos de Fluidos de Perforación

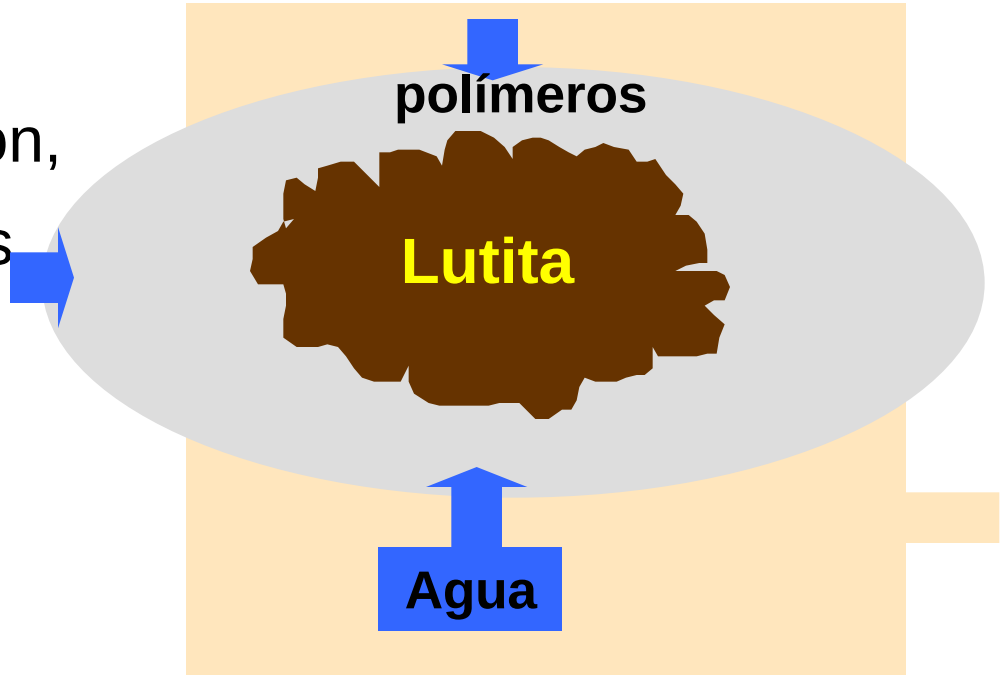
- **Lodos no inhibidos:**
  - Los lodos más sencillos base agua, son usualmente económicos.
  - Los lodos no inhibidos, ligeramente tratados se utilizan para :
    - Secciones Superiores de agujero,
    - Formaciones no reactivas.
  - Los componentes principales de estos fluidos son :
    - Arcillas de formaciones nativas, bentonita comercial, polímeros
    - Adelgazantes orgánicos.

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Lodos inhibidos:**
  - Los lodos Inhibitorios reducen la interacción química entre las formaciones sensibles al agua y lodo,
  - El uso de inhibidores en fluidos de perforación base agua reduce el hinchamiento de las arcillas y lutitas reactivas (dispersables),
  - Inhibidores comunes:
    - Polímeros,
    - Cationes (tales como el ión potasio del KCl)
    - Glicoles.

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Lodos de polímero:**
  - Los polímeros naturales y sintéticos se utilizan rutinariamente para:
    - Viscosidad
    - Control de Filtración,
    - Inhibición de lutitas

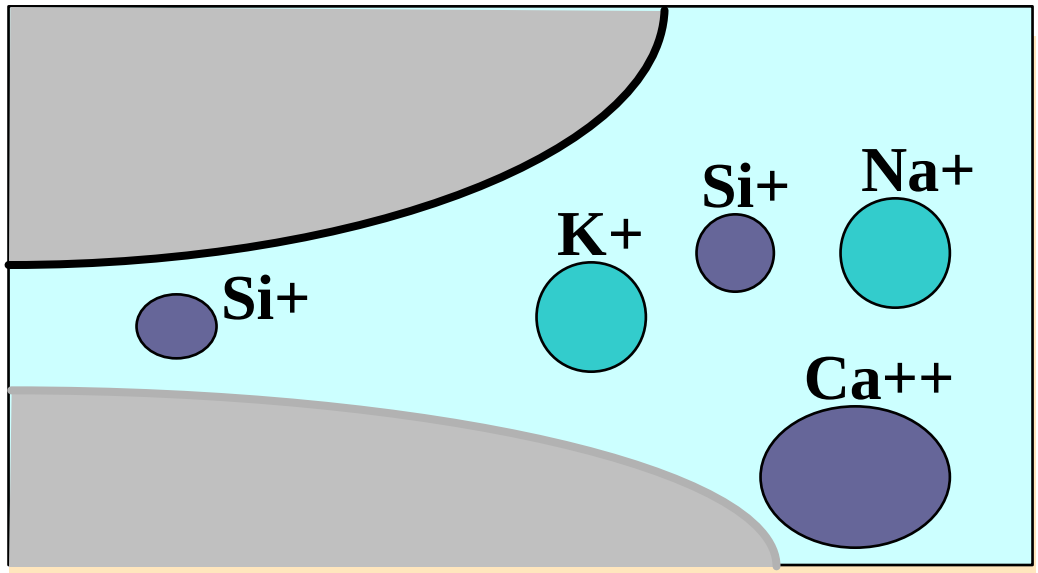


Tipos de Fluidos de Perforación

- **Fluidos con altas concentraciones de cationes:**
  - Un catión es un inhibidor de lodo como una sustancia, tales como una sal, agregadas al lodo de perforación para reducir la hidratación de las formaciones.
  - El intercambio de cationes ocurre
  - Cationes Inhibidores:
    - Sodio
    - Calcio
    - Potasio

Tipos de Fluidos de Perforación

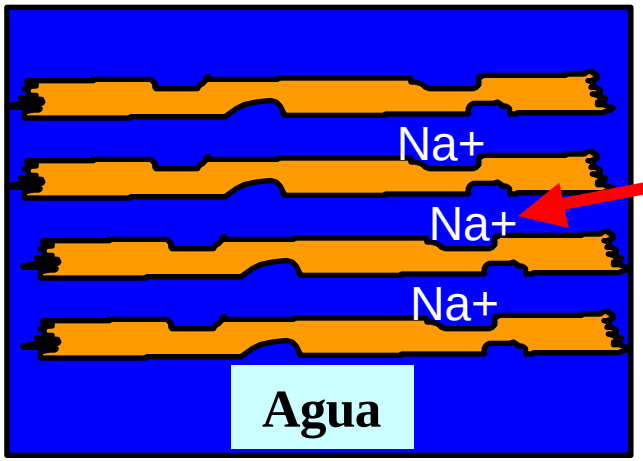
- **Fluidos de alta concentración de cationes:**
  - Inhiben la capacidad de cationes



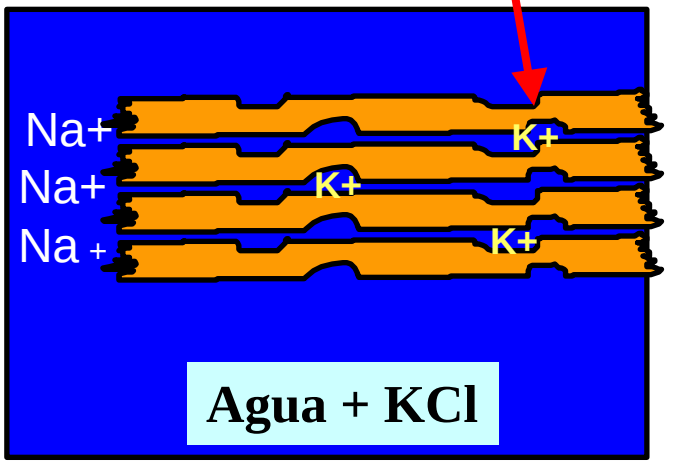
El catión fácilmente penetra la retícula de la arcilla

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Inhibición:**



El intercambio de iones limita la hidratación

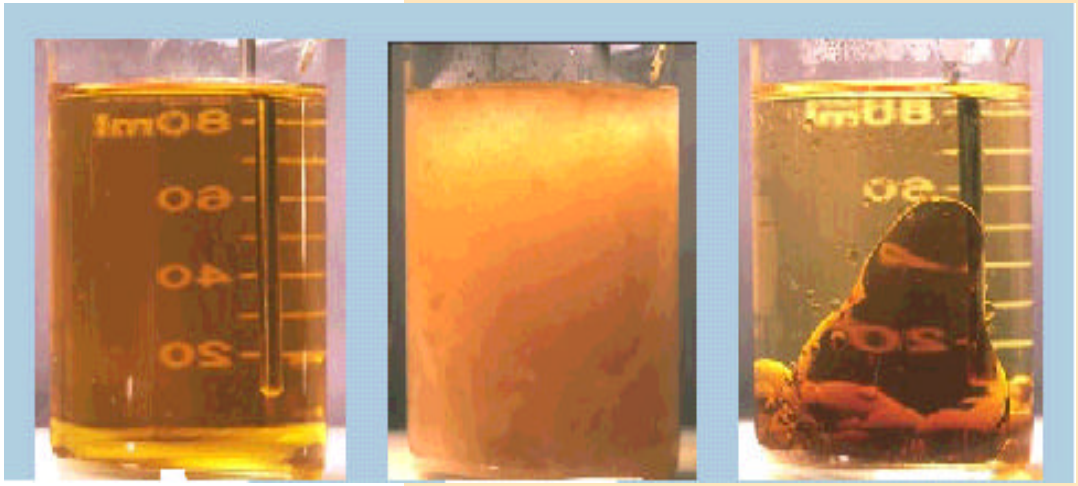


Tipos de Fluidos de Perforación

- **Sistema de fluido de Glicoles:**
  - El proceso de opacidad :
    - El Glycol en solución se estabiliza mediante el enlace de hidrogeno y moléculas de agua con átomos de oxigeno presentes en la molécula de glicol,
    - El proceso de estabilización es la hidratación,
  - El proceso de opacidad es reversible con la temperatura.

Tipos de Fluidos de Perforación

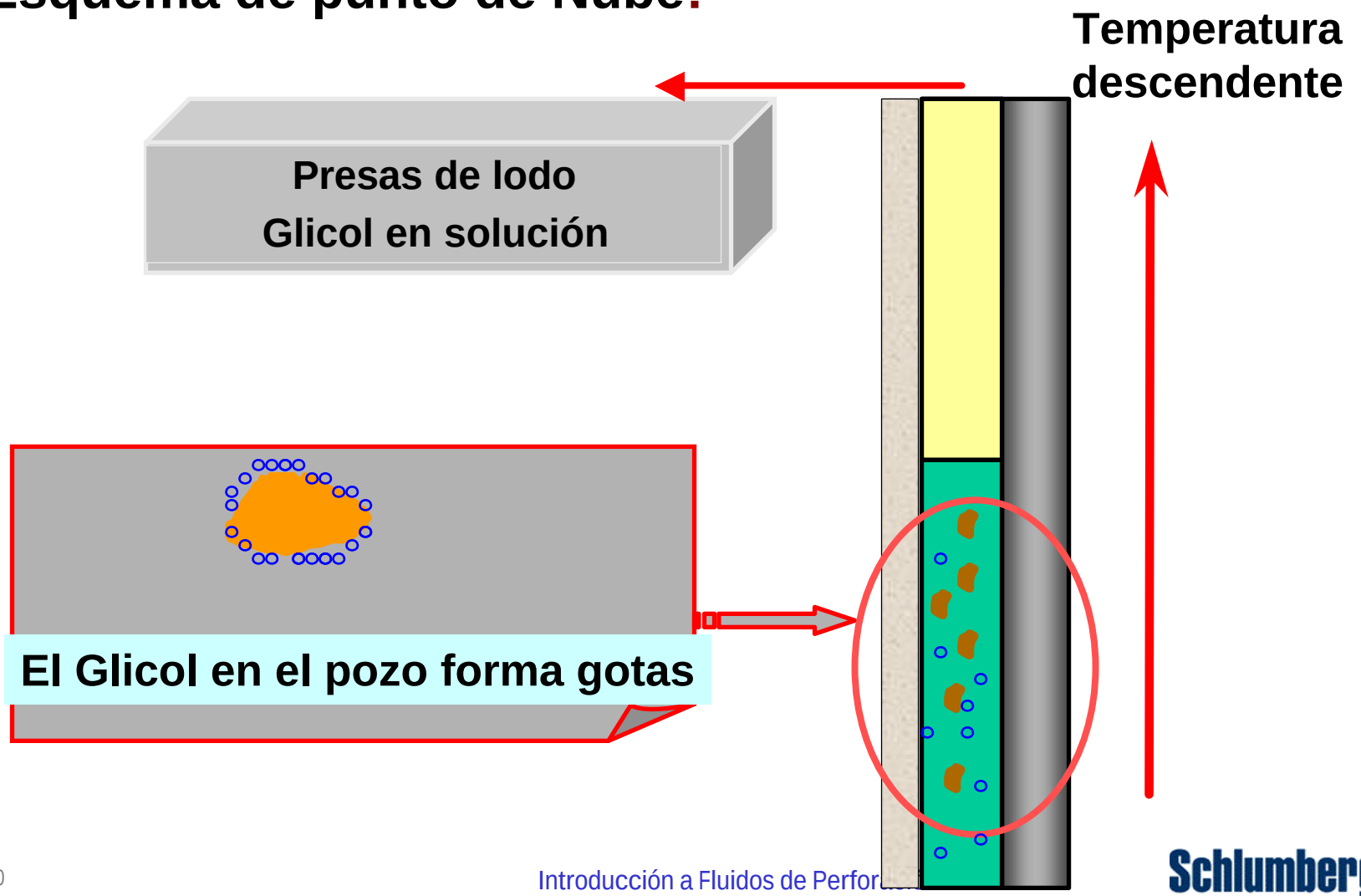
- **Sistema de Fluido de Glicoles:**
  - El proceso de opacidad con la temperatura :



Glicol en solución | **El Glycol se vuelve insoluble** | **Separación**

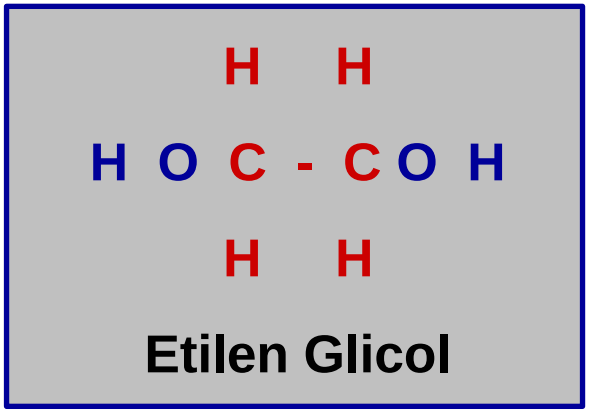
Tipos de Fluidos de Perforación

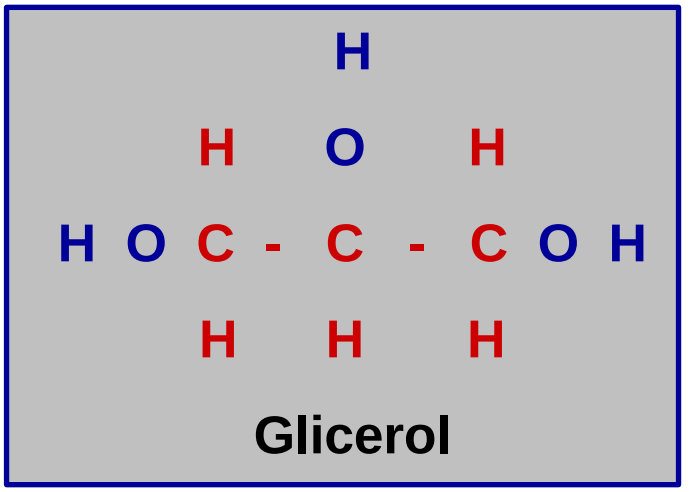
- **Esquema de punto de Nube:**



Tipos de Fluidos de Perforación

- **Glicoles Típicos:**





Tipos de Fluidos de Perforación

- **Lodos Base Agua, WBM:**
  - Lodos para comienzo del pozo,
  - Lodos de Polímero,
  - Lodos de Lignosulfonato,
  - Lodos de caliza y calcio,
  - Lodos KCl,
  - Lodos Saturados de sal,
  - Lodos de Glicol.

Tipos de Fluidos de Perforación

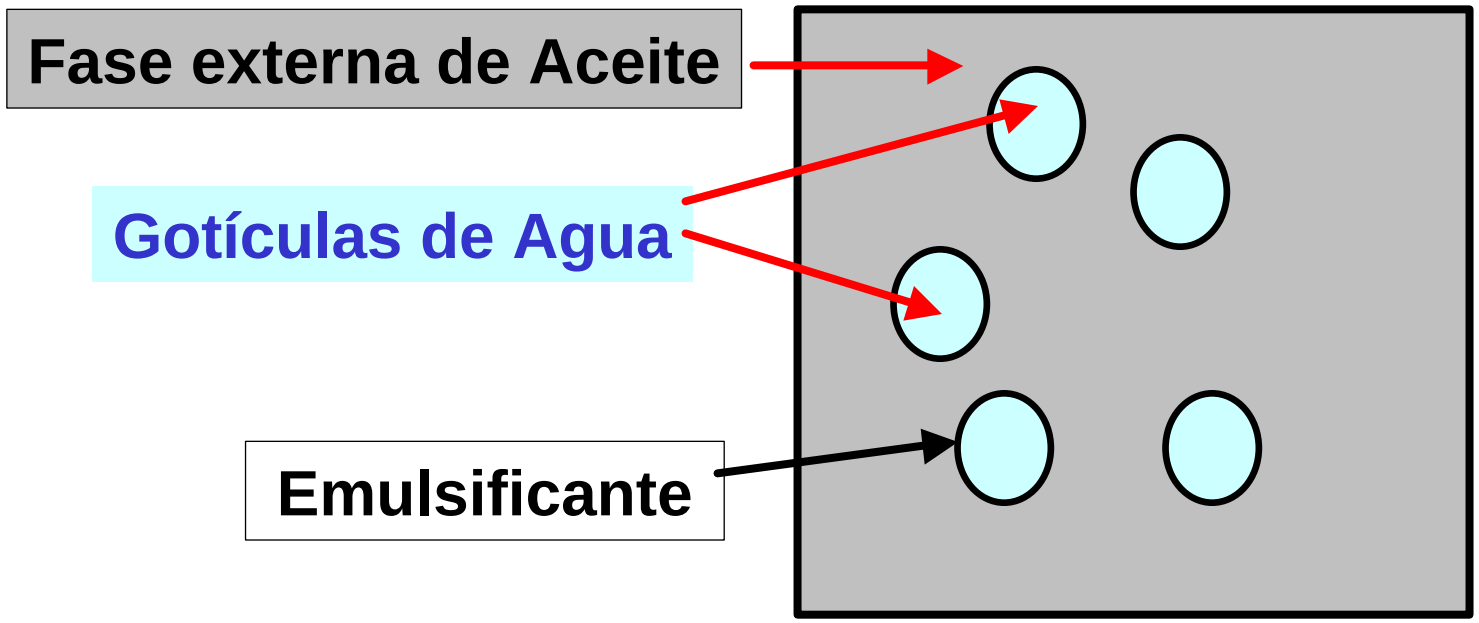
- **Lodo Base de Aceite, OBM:**
  - Los fluidos de perforación en base de aceite son :
    - Altamente inhibidos,
    - Resistentes a contaminaciones,
    - Estables a altas temperaturas y presiones,
    - De alta lubricidad,
    - No corrosivos.

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Emulsión Invertida:**
  - Componentes básicos de un lodo en base aceite:
    - Aceite,
    - Salmuera,
    - Emulsificante,
    - Agentes de humectación al aceite,
    - Agentes para control de filtración V
    - iscosificantes
    - Agente densificador
  - El porcentaje de volumen de aceite y agua se expresa como una relación aceite/agua.

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Emulsión Invertida:**

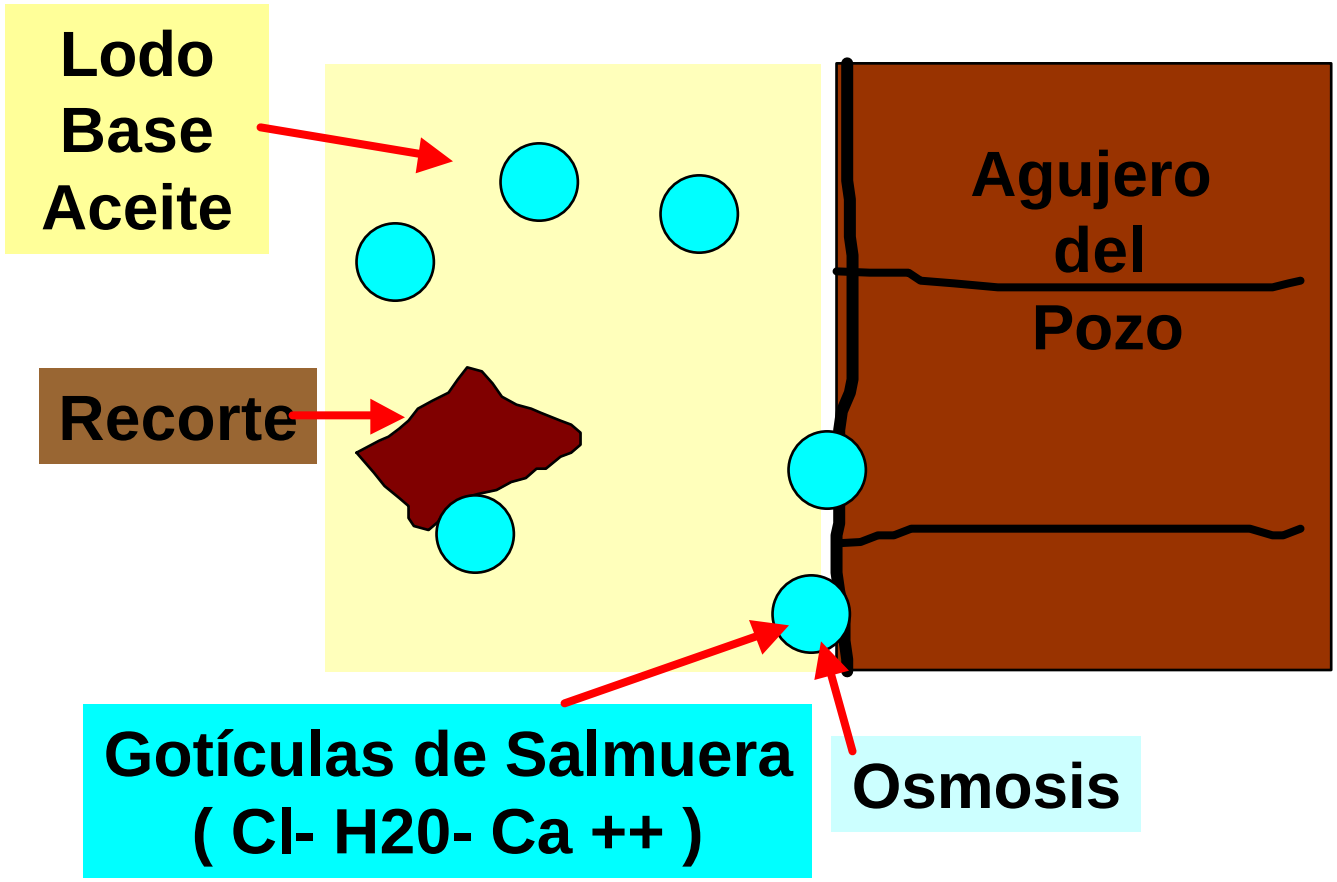


Tipos de Fluidos de Perforación

- **Emulsión Invertida:**
  - Una amplia variedad de aceites minerales refinados ha sido desarrollada para los lodos base aceite con baja toxicidad para reducir los problemas ambientales.
  - Los aceites del petróleo han sido utilizados para la fase continúa :
    - Alto punto de inflamación > 120°C
    - Punto de anilina > 65 °C
    - Aromáticos < 5 %

Tipos de Fluidos de Perforación

- **Actividad de lodo base aceite:**



Introducción a los Fluidos de Perforación
Lodos Base Agua – WBM y Lodos Base Aceite – OBM

Sección 4

Pruebas al Lodo de Perforación

Pruebas al lodo de perforación

- **Pruebas API para los fluidos de perforación:**
  - Los fluidos de perforación se miden continuamente y adecuados en el sitio del pozo.
  - Las pruebas químicas y físicas básicas sirven para controlar las condiciones de fluido de perforación.
  - El Instituto Americano del Petróleo (API) emite prácticas recomendadas para procedimientos de prueba y equipos,
    - API RP 13B -1 para lodos base agua
    - API RP 13B -2 para lodos base aceite

Pruebas al lodo de perforación

- **Pruebas Estandares del API :**
  - Son pruebas comunes para lodos base agua y aceite:
    - Densidad del lodo,
    - Tasa de filtración
    - Porcentajes de Agua, Aceite y Sólidos
    - Viscosidad y Resistencia de Gel
      - Embudo Marsh
      - Viscosímetro.

Pruebas al lodo de perforación

- **Pruebas Estandares del API:**
  - Práctica Recomendada API RP 13B –1 (para WBM)
    - Contenido de arena
    - Factor PH
    - Capacidad al Azul de Metileno (MBT)
    - Corrosión de la sarta de perforación
    - análisis Químico
      - Alcalinidad
      - Cloruros
      - Dureza total
      - Sulfuros

Pruebas al lodo de perforación

- **Pruebas Estandares del API:**
  - Práctica Recomendada API RP 13B – 2 (para OBM)
    - Estabilidad eléctrica
    - Actividad
    - Contenido Aceite y agua de los recortes
    - Análisis Químico
      - Alcalinidad total del lodo
      - Cloruros totales en el lodo
      - Calcio total en el lodo

Pruebas al lodo de perforación

- **Titulaciones:**
  - Alcalinidad
  - Carbonatos
  - Cloruros
  - Dureza total como calcio,
  - Sulfuros.

Pruebas al lodo de perforación

- **Cálculo de Cloruros:**

0.881litro de agua + 318 g NaCl = 1 litro	**0.734 litro de agua + 265 g Nacl = 0.883 litros**
Conc = 318 g / l de solución	**Conc = 265000 ppm ó 26.5 %**

Pruebas al lodo de perforación

- **Densidad:**

  El requerimiento primario de desempeño para un fluido de perforación es el control de presiónes

  - El peso del lodo es la medida de la densidad del fluido de perforación expresada en :
    - libras por galón (lb/gal),
    - libras por pie cúbico (lb/pie3),
    - kilogramos por metro cúbico, Kg/m3 (= gramos por centímetro cúbico, gr/cc)

Pruebas al lodo de perforación

- **Filtración : Filtro Prensa del API**
  - Aplicación de la ley de Darcy,
  - Tiempo de filtración: 30 min,
  - Temperatura atmosférica,
  - Presión de la prueba: 90 psi,

  Resultados:
  - Volumen de filtrado,
  - Análisis de Revoque.

Pruebas al lodo de perforación

- **Análisis de Retorta – Contenido líquido y sólido:**
  - Una muestra cuidadosamente medida de lodo se calienta en un juego de retorta hasta que los componentes líquidos se vaporicen.
  - Los vapores se condensan y se colectan en un vaso de medición.
  - El volumen de líquido (aceite y/o agua) se lee directamente como porcentaje,
  - El volumen de sólidos (suspendidos y disueltos) se calcula por la diferencia con el 100%.

Pruebas al lodo de perforación

- **Viscosidad:**
  - Se prueba la reología con el viscosímetro Fann V-G
  - El viscosímetro Fann V-G (Viscosidad- Gel),o viscosímetro de indicación directa, está diseñado especialmente para facilitar el uso del Modelo plástico de Bingham con los fluidos de perforación en el campo.
  - El instrumento tiene una balanza de torsión con una bobina de resorte que da una lectura proporcional al torque y análoga al esfuerzo cortante
  - La velocidad de rotación, rpm, es análoga a la velocidad cortante.

Pruebas al lodo de perforación

- **Formulas y unidades;**
  - La determinación de viscosidades se obtiene de las lecturas con el cilindro rotando dentro del vaso con la muestra del fluido a 600 rpm y a 300 rpm .
    - Los datos se utilizan para calcular:
      - Viscosidad Aparente (AV): Fann @ 600/2 (en cp)
      - Viscosidad Plástica (PV): Fann 600 – Fann 300 (cp)
      - Punto de Cedencia (YP): Fann 300 – PV (lbs/100pie2)
      - Resistencia de Gel @ 10 Seg y @ 10 min

Pruebas al lodo de perforación

- **Contenido de Arena:**
  - El porcentaje de arena en el lodo se mide utilizando una malla de tamiz Nº 200 y un tubo graduado,
  - El tubo de medición de vidrio se llena con lodo hasta la 1ª línea marcada y se le agrega agua hasta la siguiente línea marcada,
  - Se filtra el fluido a través de la malla del tamíz,
  - Se calcula el porcentaje de arena retenido en la malla lavando la misma con un embudo y dejando que se asiente la arena. Se lee el % directamente en el tubo graduado.

Pruebas al lodo de perforación

- **Determinación del PH :**
  - El pH es una medida de la concentración de iones hidrogeno en una solución,
  - Se utiliza un medidor de pH o un papel indicador de pH,
  - El papel indicador de pH cambiará a diferentes colores dependiendo de las concentraciones de iones H+
  - El papel Indicador puede medir hasta el 0.5 más cercano de una unidad,
  - El medidor de pH da un resultado más preciso hasta el 0.1 de una unidad.

Pruebas al lodo de perforación

- **Análisis Químico:**
  - **Titulaciones del lodo y del filtrado**
    - Se utiliza una solución estándar para determinar la cantidad de alguna sustancia disuelta en otra.
    - Indicador : Las concentración de las substancias disueltas en titulaciones Acido-Base se determina por el cambio de color al final de la reacción.

Pruebas al lodo de perforación

- **Análisis Químico:**
  - **Alcalinidad**
    - El procedimiento involucra el uso de una pequeña muestra agregando un indicador de fenolftaleina, y titulando con ácido hasta que el color cambia,
    - El número de ml de ácido por ml de muestra para el cambio de color se reporta como la alcalinidad,
    - Pm = alcalinidad de lodo y Pf = alcalinidad de filtrado
    - Indicador : Las concentración de las substancias disueltas en titulaciones Acido-Base se determina por el cambio de color al final de la reacción.

Pruebas al lodo de perforación

- **Análisis Químico:**
  - **Contenido de Cloruros**
    - La cantidad de cloruros en el lodo es una medida del contenido total de sal del fluido
    - El procedimiento involucra el uso de una muestra de filtrado, indicador de cromato de potasio, y una solución de nitrato de plata,
    - La titulación es el método de Morh,
    - El contenido de cloro se calcula a partir de:
      - Cl = ml de Nitrato de Plata x1000/ml de muestra de filtrado

Pruebas al lodo de perforación

- **Análisis Quimico:**
  - **Capacidad al MBT = Contenido de Arcilla en el lodo en lbs/bbl = Capacidad de Intercambio de Cationes**
    - Se utiliza una solución de Azul de Metileno,
    - Los sólidos en suspensión absorberán la solución Azul de Metileno,
    - Se colocan gotas de solución en un papel filtro,
    - Se llega al punto final cuando aparece un tinte en forma de anillo azul alrededor de los sólidos sobre el papel filtro,
    - La Capacidad Azul de Metileno es: ml de azul de metileno/ ml de muestra de lodo,
    - El contenido de bentonita (ppb) = 5 x capacidad de azul de metileno

Introducción a los Fluidos de Perforación
Lodos Base Agua – WBM y Lodos Base Aceite – OBM

Sección 5

Asuntos Ambientales

Asuntos Ambientales

- **Introducción:**
  - La conciencia ambiental del público, las agencias y los clientes han contribuido a que los asuntos ambientales se conviertan en un factor integral en las formulaciones de productos de fluidos de perforación.
  - La contaminación del ambiente natural podría ocurrir si los fluidos y los recortes de la formación no se desechan en la forma adecuada.
  - Las reglamentaciones pueden variar dependiendo del país y del área jurisdiccional.

Asuntos Ambientales

- **Operaciones Costa Afuera:**
  - El desecho de lodos y recortes esta regulado en EE.UU. Por el Sistema Nacional de Eliminación de desechos Contaminantes (National Pollutant Discharge Elimination System – NPDES).
  - Las Agencias de Protección al Medio Ambiente regulan estrictamente todos las descargas de desechos.
  - En la actualidad, los permisos de las agencias prohíben la descarga de desechos de lodos base aceite, pero aprueban la liberación de lodos y recortes que logren un valor específico de **toxicidad**.

Asuntos Ambientales

- **Toxicidad:**
  - Los hidrocarburos, cloruros y metales pesados son las fuentes principales de toxicidad en los fluidos de perforación.
  - Estos contaminantes también ocurren naturalmente y algunas veces se incorporan en el lodo durante la perforación.
  - El petróleo crudo de formaciones productivas, la sal de formaciones masivas de sal y los metales contenidos en lutitas ricas en orgánicos pueden incorporarse al lodo mientras se perfora el pozo.

Asuntos Ambientales

- **Pruebas de Toxicidad:**
  - La toxicidad de un fluido de perforación está determinada por su composición y se mide con un procedimiento de bioensayo.
  - Los bioensayos miden el efecto de un fluido de perforación (o producto) y la toxicidad aguda (letalidad) sobre una población de organismos.

Asuntos Ambientales

- **Valor de Toxicidad:**
  - Valor LC 50 a las 96 horas (en mg/l)
    - Concentración letal que causa que muerte del 50 % de los organismos expuestos a la sustancia (camarones).
  - Valor EC 50 (mg/l)
    - Concentración de la sustancia en mg/l que reduce el crecimiento de los organismos (algas) en las rocas de moluscos (bálano) en un 50%

Asuntos Ambientales

- **Manejo de desechos:**
  - Continuamente se formulan nuevos productos para reducir la contaminación y las practicas operativas están cambiando al:
    - Reducir la contaminación con metales pesados,
    - Utilizar aceites sintéticos y de baja toxicidad,
    - Reducir el volumen de líquidos y sólidos y mejorando la eficiencia de los equipos para control de sólidos,
    - Reciclar los recortes y desechos de lodos.

Asuntos Ambientales

- **Opciones de desecho:**
  - Se pueden desechar los lodos y los recortes directamente al mar.
  - Se puede tratar los lodos con escoria de horno de fundición y utilizarlos para trabajos de cementación.
  - Los recortes se pueden inyectar en los espacios anulares.
  - Los recortes se reciclan como material de construcción o se utilizan para rellenos sanitarios.
  - Transporte de desechos desde el equipo en el mar hasta la tierra firme para su procesamiento y disposición final

Asuntos Ambientales

- **Tratamiento / Procesos de desecho:**
  - Control de sólidos en ciclo cerrado,
  - Acondicionamiento de terrenos para cultivo,
  - Lavado de recortes,
  - Deshidratación de desechos líquidos,
  - Solidificación de desechos líquidos.

Asuntos Ambientales

- **Tratamiento / Procesos de desecho:**
  - Inyección de recortes en el espacio anular de pozos de disposición
  - Bio-remediación,
  - Incineración de desechos,
  - Separación térmica de fases

Asuntos Ambientales

- **Ahora USTED debe ser capaz de:**

  - Enumerar las funciones y propiedades de un fluido de perforación
  - Comprender la mecánica del daño a la formación,
  - Describir los diferentes sistemas de lodo,
  - Identificar el impacto ambiental con la utilización de los fluidos de perforación.